

**A CONTRIBUIÇÃO DA CAMPANHA SAREX'92 (SOUTH AMERICAN RADAR EXPERIMENT) PARA A  
AVALIAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS EM FLORESTAS TROPICAIS PLUVIAIS: PRIMEIROS  
RESULTADOS DA AREA-TESTE ACRE, SW DA AMAZONIA, BRASIL**

Hermann J.H. Kux  
INPE, C.P. 515 S. José dos Campos  
S.P., Brazil, Tel. 55-123-418977  
Fax: 55-123-218743

F.J. Ahern, R.K. Raney  
CCRS, 588 Booth St., Ottawa, Ont.  
Canada K1A 0Y7, Tel. 613-947-1295  
Fax: 947-1383

Ron W. Pletsch, Brian Tittley  
Dendron Resource Surveys, Ltd.  
880 Lady Ellen Place, Ottawa, Ont. K1Z 5L9  
Tel. 613-957-1317, Fax 613-947-1289

**Resumo**

No âmbito de um projeto de cooperação Canadá/Brasil e com o suporte financeiro da Agência Espacial Europeia (ESA) e da Agência de Desenvolvimento Internacional do Canadá (CIDA), foi efetuada em abril de 1992, uma campanha com o SAR-580 aerotransportado, para a obtenção de dados radar em banda C, polarizações HH e VV, na Amazonia Brasileira.

O objetivo principal do SAREX'92 é a obtenção de um conjunto de dados em banda C, inclusive de dados simulados de satélite, para serem usados na avaliação de dados SAR, em ambientes de florestas tropicais. Resultados desses estudos estão sendo usados para promover o ensino e disseminação de tecnologia SAR entre profissionais e equipes técnicas de sensoriamento remoto, responsáveis por manejo florestal e meio ambiente no Brasil.

Neste trabalho estão sendo apresentados os primeiros resultados da avaliação de dados SAR (Synthetic Aperture Radar) da área-teste Estado do Acre. A utilização de imagens SAR geométrica- e radiométricamente corrigidas é descrita e relacionada a detecção de tipos florestais, padrões de desmatamento para estabelecimento de pastagens e núcleos agrícolas bem como outras feições devidas ao Homem. São mostrados ainda diferentes exemplos de feições de relevo, detectáveis através de imagens SAR e o seu relacionamento com uso e cobertura do solo, quando for o caso.

Baseando-se na interpretação de imagens de faixa larga, processadas para representar com fidelidade os dados a serem obtidos pelo RADARSAT (lançamento previsto para início de 1995), parece que o RADARSAT desempenhará um importante papel para o monitoramento desta região, particularmente para a obtenção de informações referentes ao desmatamento, rede de drenagem, solos e vegetação. Estas informações serão de extrema utilidade para o manejo do desenvolvimento, evitando-se assim graves problemas ambientais que anteriormente ocorreram nesta região.

## 1. INTRODUÇÃO

Em função de seu tamanho e de sua diversidade física, a Amazonia pode ser considerada quase como um continente, com suas características e problemas específicos. No início dos anos 70, para ter-se uma visão de conjunto da geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial desta imensa região, criou-se o PROJETO RADAMBRASIL, com o objetivo de mapeamento temático em pequena escala, baseado principalmente em mosaicos semi-controlados de radar aerotransportado. Considerando que tratou-se do primeiro mapeamento sistemático, em escala 1:1.000.000, tornou-se a base de muitos estudos posteriores e mais detalhados desta área. Uma das maiores limitações deste grande esforço de mapeamento foi a falta de informações mais detalhadas de campo (verdade terrestre), provavelmente devido a limitações logísticas, temporais e de custeio. Desde então, para detectar e mapear os recursos naturais desta extensa área de floresta tropical pluvial, instituições federais e estaduais tem utilizado essencialmente dados de sensoriamento remoto ótico para mapear a região, com interesse especial para as atividades de desmatamento, dinâmica de enchentes e em aspectos da geologia local e regional.

As limitações do sensoriamento remoto ótico em regiões tropicais tornam-se aparentes quando há necessidade de obtenção de dados numa época pré-determinada. Isto é devido principalmente a alta umidade sobre a Amazonia e a consequente cobertura de nuvens. Além disso, durante a estação seca do ano, a frequente cobertura de bruma seca devida a queima de biomassa, inibe o uso extensivo de dados obtidos de sensores óticos.

## 2. A CAMPANHA SAREX

A partir do interesse comum Brasil/Canadá no desenvolvimento de capacitação técnica em análise/avaliação de dados SAR e como um passo

na preparação de especialistas para a utilização efetiva de dados do RADARSAT (Raney et al. 1991), foi estabelecido o Projeto SAREX'92. A parte brasileira deste Projeto é custeada pelas seguintes instituições: Agencia Espacial Européia (ESA), Agencia Canadense de Desenvolvimento Internacional (CIDA), INPE, CNPq e o Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS). A cooperação Canadá/Brasil possui dois objetivos principais:

1. a obtenção de um conjunto de dados em banda C do SAR-580 aerotransportado, para avaliar as capacidades do SAR banda C para detecção e mapeamento de feições terrestres, desmatamentos, áreas queimadas, áreas de regeneração, enchentes, mapeamento de lagos artificiais (reservatórios d'água de usinas hidrelétricas) e simular imagens do RADARSAT a partir desses dados;
2. a difusão de tecnologia SAR entre profissionais na área de planejamento e gerenciamento de recursos florestais no Brasil e na América Latina. O projeto inclui trabalhos conjuntos entre especialistas do CCRS e do INPE na organização de workshops e realização de cursos de treinamento de interpretação de imagens SAR para especialistas em sensoriamento remoto na Amazonia.

## 3. AREA-TESTE ACRE: DESCRIÇÃO GERAL

O Estado do Acre, localizado no SW da Amazonia, possui ainda aproximadamente 95% de seu território coberto pela floresta tropical pluvial original. Os seus solos são geralmente profundos e pouco consolidados. Em função de sua composição física (argilas ativas em elevada porcentagem), estes solos são facilmente erodíveis, ocasionando o entulhamento de rios com sedimentos. Isto tem sido um problema para a construção de estradas e outras obras de engenharia civil. A região apresenta um relevo mediano a fortemente colinoso e seções de um planalto, fortemente dissecado em suas bordas, a NE de Sena Madureira, bem perceptível nas cenas

do SAR-580.

A economia do Acre baseia-se essencialmente na extração de latex da Hevea Brasiliensis para produção de borracha, coleta de Castanhas do Pará e extração de madeiras tropicais. Ao longo das duas últimas décadas, em função da política de ocupação territorial da Amazonia pelo governo, as taxas de desmatamento aumentaram intensamente. Extensas áreas foram desmatadas para o estabelecimento de fazendas de criação de gado e projetos de assentamento agrícola. Um desses projetos, o "PAD Humaitá", localizado ao norte de Rio Branco, a capital do Estado, é facilmente reconhecível em imagens de SAR-580 pela sua geometria especial: oito estradas de penetração irradiam num ângulo de 45 graus a partir de uma praça central. Ao longo dessas estradas os lotes possuem tamanho variado de 50-100 ha.

A extração de latex é uma atividade econômica bem adaptada ao ambiente local. O desmatamento devido aos seringueiros, as "colocações", restringe-se a pequenas faixas de alguns hectares, para o plantio de culturas de subsistência. Este tipo de ocupação do território, conhecido internacionalmente como "slash and burn", somente é sustentável quando aplicado em pequenas escalas. Tem sido usado há séculos por populações indígenas, não tendo causado maiores estragos a floresta original, porque as áreas desmatadas são abandonadas após poucos anos de uso agrícola, iniciando-se então a recuperação florestal. As "colocações" frequentemente são reconhecíveis nas cenas de SAR aerotransportado. São mais frequentes ao sul de Rio Branco, uma antiga área de extração de latex.

O governo do Estado do Acre está engajado na proteção de seus recursos florestais, especialmente no que se refere às "Reservas Extrativistas". Consequentemente a FUNTAC- Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, nosso parceiro no Estado, gera anualmente um mapa do incremento

de áreas desmatadas, usando essencialmente dados do TM fornecidos pelo INPE. Além disso, a FUNTAC está ativamente engajada na avaliação de dados SAR, para estas e outras aplicações.

#### 4. AQUISIÇÃO DE DADOS

Foram obtidos dados com o sensor SAR-580, banda C, em tres modos de operação característicos, a saber: nadir, faixa estreita (narrow swath) e faixa larga (wide swath):

- modo nadir: faixa imageada de 20 km, ângulos de incidência de nominalmente 0 a 74°, com resolução de 6 x 6 m,
- modo faixa estreita: faixa imageada de 18 km, ângulos de incidência 45 a 76°, resolução de 6 x 6 m,
- modo faixa larga: faixa imageada de 60 km, ângulos de incidência de 45 a 85°, resolução de 10 x 20 m.

Os dados SAR foram processados em tempo real, a bordo da aeronave Convair 580. Foram gerados negativos fotográficos no CCRS, usando-se o AIR-2, sistema de produção de imagens aerotransportadas. A maioria das interpretações mencionadas neste trabalho, foram feitas a partir desses negativos. Em algumas seções da área em estudo, os dados usados foram realçados usando-se o processamento digital para remover efeitos residuais do padrão de antena e distorções geométricas bem como obtida uma otimização do realce linear da área de interesse.

Na semana da missão de aquisição de imagens SAR também foram obtidos dados de verificação de campo. Foram feitos extensos conjuntos de fotografias 35 mm para documentar as condições na época da missão radar, e visitas a áreas de interesse especial. Dados "quick look" do processador em tempo real das cenas C-SAR foram usadas para planejar a aquisição de dados no campo.

## 5. ANÁLISE DE IMAGENS DO SAREX

Somente na área teste do Acre foi imageada uma seção de 33.000 km<sup>2</sup>. Selecionaram-se algumas cenas que apresentam feições características de relevo e vegetação da área em estudo. Foi efetuada a análise de dados usando-se um equipamento PROCOM-2, para ampliação de imagens, interpretação visual de imagens, ampliadas dos negativos originais. Neste trabalho estão sendo descritas as feições que puderam ser mapeadas através de interpretação visual de ambos conjuntos de dados referentes às faixas largas, ampliados para a escala de trabalho 1:100.000.

### 5.1. INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DE CENAS C-HH, FAIXA LARGA, DA REGIÃO RIO PURÚS-SENA MADUREIRA-RIO BRANCO

O Purús, maior rio do Estado do Acre e com direção geral E-W na área em estudo, forma uma ampla planície fluvial. A partir das cenas do SAR-580, definem-se claramente dois níveis de terraços fluviais. O terraço inferior caracteriza-se por diversas feições fluviais como lagos em ferradura (oxbows) e outros resíduos de meandros abandonados, frequentemente cobertos por vegetação (FIG.1). Esta área também apresenta diversas feições de origem humana, como seções desmatadas usadas principalmente para pastagem e/ou agricultura. Os tributários maiores do Purús (Iaco, Córrego do Ouro, Antimarí e Riozinho do Andirá), também apresentam planícies aluviais bem definidas. O terraço superior do Purús é uma seção localizada entre o terraço inferior e a base de um antigo planalto, que foi dissecado fortemente em morros de diferentes tamanhos e altimetria. Um resíduo deste planalto é bem visível na imagem SAR (Fig. 1). Este planalto aparentemente mergulha suavemente para NE, conforme a direção geral da drenagem. A drenagem é bem perceptível nesta cena SAR, devido ao forte encaixamento da drenagem principal e secundária.

Na região onde este planalto foi intensamente dissecado em colinas, somente os principais canais fluviais aparecem claramente, enquanto a plotagem de canais secundários não é muito precisa. Aquí a textura das imagens SAR permite somente uma divisão inicial das principais unidades de relevo. Esta observação vale também para a seção entre Rio Purús e Rio Acre, onde, devido a intensa dissecção do relevo, somente as principais unidades de relevo, bem como as planícies fluviais maiores, podem ser claramente definidas.

Ao longo da rodovia Sena Madureira-Rio Branco (BR-364), as seções de maiores desmatamentos, frequentemente de forma retangular, são fazendas de criação de gado, com várias centenas a milhares de hectares. A principal motivação para a escolha destas áreas para desmatamento e plantio de pastagem, parece ser a proximidade com a estrada, para garantir o transporte do gado. Junto a cidade de Rio Branco o padrão de desmatamento é misto: grandes seções retangulares indicam desmatamentos para fazendas de gado, enquanto áreas desmatadas menores são uma indicação de uso agrícola e outras finalidades.

### 5.2. INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DE CENAS DE FAIXA LARGA C-HH DA REGIÃO RIO BRANCO-XAPURI

Esta região é drenada pelo rio Acre e tributários como o Rio do Rola e o Rio Xapurí. A rede de drenagem geralmente aparece bem na imagem de radar com alto contraste. Diferentes feições de relevo/paisagem são claramente visíveis nas cenas de faixa larga. Tanto a planície fluvial como um nível superior de terraços podem ser detectados nas imagens SAR. Acima desses terraços fluviais, na margem direita do Rio Acre, a planície fluvial é bordejada por uma área de relevo colinoso, que se torna um interflúvio praticamente plano, junto a rodovia Rio Branco-Xapurí (Brasil, 1990). Ao longo da margem ocidental do rio Acre observa-se uma

escarpa, bem perceptível numa extensa seção do rio. Ao sul da cidade de Xapurí, a planície fluvial deste rio também é claramente perceptível. O rio Xapurí apresenta uma planície relativamente larga em relação a sua competência. As extensas e largas planícies aluviais dos rios maiores encontrados no Acre, bem como o caráter meandrônico de todos os coletores maiores, indica que teriam sido formados sob condições climáticas mais favoráveis a erosão/deposição do que as condições atuais. Isto pode estar associado com um dos períodos interglaciais do Quaternário, quando diferentes regiões tropicais sofreram climas úmidos muito agressivos.

A rede de drenagem nesta região pode ser agrupada em várias classes, dependendo da sua densidade. A partir daí podem ser feitas inferências sobre o relevo, sobre a suscetibilidade a erosão e possivelmente também sobre o substrato rochoso. Áreas de maior densidade de canais fluviais possuem um relevo de morros e colinas com diferentes altimetrias o que indica solos mais facilmente erodíveis, enquanto áreas de densidade fluvial mais baixa são menos dissecadas e provavelmente indicam solos e rochas mais resistentes a erosão.

A floresta tropical pluvial, cobertura vegetal original desta região, foi extensamente desmatada ao longo da rodovia Rio Branco-Senador Guiomard-Xapurí-Brasiléia, principalmente para o estabelecimento de fazendas de criação de gado. As extensas seções desmatadas de formas retangulares são bem visíveis em cenas de SAR faixa larga e estreita (Fig. 2). A interpretação de áreas desmatadas baseia-se na textura muito lisa de áreas sem floresta em comparação a textura grosseira do dossel de árvores da floresta tropical original. Quando a iluminação de radar é favorável a detecção de cada seção desmatada, também ocorre uma sombra ao longo do limite mais próximo (near edge) e um sinal de retorno forte no limite distante (far edge), em relação ao radar, o que ajuda a delimitar a área desmatada.

Fazendas de criação de gado frequentemente possuem diferentes tipos de cobertura do solo que podem ser detectadas de uma imagem SAR, como p.ex. áreas com pastagens e capoeiras, ou seja áreas de regeneração de vegetação que invade áreas anteriormente cobertas por pastagens (Fig. 2). Castanheiras individuais podem ser as vezes detectadas nas imagens SAR de faixa estreita, com alta resolução (6 x 6 metros), em função de sua sombra projetada nas pastagens em volta.

Contrastando com o desmatamento para atividades de criação de gado, as "colocações" são seções desmatadas muito pequenas, com áreas de 5 a 20 ha ou menores. Estes pequenos desmatamentos, dispersos na área de floresta, estão mais concentrados em volta da cidade de Xapurí. Outra área de concentração de "colocações" é a Reserva Extrativa de Remanso, próxima a plantação de cana de açúcar da ALCOBRAS.

## 6. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DE DADOS SAR PARA A AVALIAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS NA ÁREA DE ESTUDO

No Acre bem como em outras regiões da Amazonia o mapeamento detalhado das planícies fluviais, ou seja das várzeas, pode ser efetuado com cenas de SAR, com atenção especial a lagos de várzea e leitos de rios abandonados. Isto é importante, dentre outros motivos, para o conhecimento da dinâmica anual de enchentes, uma informação essencial para o planejamento e locação, p.ex. de estradas e projetos de assentamento agrícola. Convém lembrar ainda que os ambientes de florestas e lagos de várzea, em regiões tropicais, estão dentre aqueles de maior produção de peixes, fonte natural de proteínas e base alimentar para o homem e a fauna.

O mapeamento preciso do sistema de drenagem e a estimativa do potencial de erosão são as principais aplicações de SAR para a avaliação dos

recursos naturais desta região. A estimativa de umidade dos solos nas áreas desmatadas seria de grande interesse, na medida em que permitiria quantificar a influência do desmatamento em grande escala, no ciclo hidrológico da região (essencialmente vazão fluvial e taxas de evapotranspiração). Até o momento, resultados de interpretação de imagens SAR indicam sucesso na detecção dos grandes desmatamentos (centenas a milhares de ha) devidos às fazendas de criação de gado, médios desmatamentos (50-100 ha) para assentamentos agrícolas e pelo menos os maiores dos desmatamentos para "colocações", em torno de 20 ha. Uma contribuição adicional poderá ser a análise dos padrões de regeneração da vegetação original, particularmente naquelas áreas de antigas pastagens, uma aplicação que ainda está sendo analisada.

## 7. CONCLUSÕES

A interpretação preliminar das imagens C-SAR, faixa larga, do Acre indicou a validade da utilização desses dados para um grande número de aplicações. Os dados interpretados são similares em qualidade e resolução espacial aqueles a serem obtidos pelo satélite RADARSAT. A interpretação geomorfológica mostrou a importância de dados SAR para a detecção da rede de drenagem, planícies aluviais, várzeas e grandes feições de relevo. Áreas desmatadas grandes e médias são claramente distinguíveis por causa de sua textura lisa que contrasta fortemente com a textura rugosa do dossel da floresta original bem como em função dos padrões geométricos distintos de tais projetos agropecuários. Desmatamentos menores, com área aproximada de 20 ha (as "colocações"), também podem ser discriminadas. Espera-se que o SAR desempenhe um importante papel no monitoramento do desmatamento tropical, diante dos resultados iniciais promissores obtidos na área-teste Acre. A análise mais pormenorizada dos dados SAR do Acre está sendo feita em conjunto pelo CCRS e INPE.

## 8. REFERENCIAS

BRASIL, Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República, IBGE, IPES, Projeto de Proteção do Meio Ambiente e das comunidades Indígenas: diagnóstico geoambiental e sócio-econômico. Área de influência da BR-364, trecho Porto Velho/Rio Branco, Rio de Janeiro 1990, 132 p.

Livingsone, C.L., A.L. Gray, R.K. Hawkins, R.B. Olsen CCRS' C/X airborne synthetic aperture radar: an R and D tool for the ERS-1 time frame, Proceedings, 1988 IEEE National Radar Conference, pp 15-21, 1988.

Raney, R.K., A.P. Luscombe, E. Langham & S. Ahmed RADARSAT, Proceedings of the IEEE, Vol. 79, nr 6, June 1991, pp 839-849.



**FIG. 1** SEÇÃO DO RIO PURUS,  
BANDA C, POL. HH,  
FAIXA LARGA

- P = PLANALTO
- LT = TERRAÇO INFERIOR
- UT = TERRAÇO SUPERIOR
- H = MORROS, COLINAS
- D = ÁREAS DESMATADAS

**FIG.2** SEÇÃO DO RIO ACRE,  
FAZENDA DE CRIAÇÃO DE  
GADO, AO SUL DE RIO  
BRANCO, BANDA C,  
POL. HH, FAIXA ESTREITA

- F = FLORESTA ORIGINAL
- G = PASTAGEM
- O = PASTAGEM ANTIGA  
("CÁPOEIRA")
- C = "COLOCAÇÕES"

